

2008

Ocena skuteczności działania suchego systemu oczyszczania spalin ze spalania odpadów medycznych opartego na wtrysku sorbentu wapniowo-węglowego

Robert Oleniacz

ROBERT OLENIACZ

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

OCENA SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA SUCHEGO SYSTEMU OCZYSZCZANIA SPALIN ZE SPALANIA ODPADÓW MEDYCZNYCH OPARTEGO NA WTRYSKU SORBENTU WAPNIOWO-WĘGLOWEGO

Obiektem badań była instalacja spalania odpadów medycznych o wydajności maksymalnej 150 kg/h, wyposażona w suchy system oczyszczania spalin, oparty na procesie adsorpcji zanieczyszczeń na sorbencie wapniowo-węglowym i zatrzymywaniu sorbentu w wysoko sprawnym urządzeniu odpylającym. W charakterze sorbentu była wykorzystywana mieszanina wysokoreaktywnego wapna hydratyzowanego (o rozbudowanej powierzchni względnej) z węglem aktywnym, wtryskiwana do spalin za pomocą podajnika pneumatycznego. Udział węgla aktywnego w mieszaninie wynosił ok. 5÷10% wag. Stosowanym urządzeniem odpylającym był filtr ceramiczny o całkowitej powierzchni filtrującej wynoszącej 120 m² i gwarantowanym stężeniu pyłu na wylocie poniżej 5 mg/m³. Celem badań była m.in. ocena skuteczności usuwania ze spalin wybranych substancji (SO₂, NO_x, C_xH_y, HCl, HF, HCN, Hg i BTX) oraz możliwości spełniania standardów emisyjnych określonych dla instalacji spalania odpadów. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i analiz stwierdzono, że całkowicie suchy system oczyszczania spalin niezbyt dobrze radzi sobie z zatrzymywaniem niektórych zanieczyszczeń występujących w fazie gazowej, co w sytuacji okresowego wzrostu ilości substancji unoszonych z procesu spalania może skutkować niedotrzymywaniem standardów emisyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: spalanie odpadów, gazy odlotowe, adsorpcja, skuteczność oczyszczania

WSTĘP

Do oczyszczania spalin powstających w instalacjach spalania odpadów stosowane są mniej lub bardziej rozbudowane systemy, pozwalające na ograniczenie stężeń substancji zanieczyszczających w gazach emitowanych do powietrza do poziomów nieprzekraczających standardów emisyjnych obowiązujących dla tego typu instalacji [1, 2].

Na wybór metody oczyszczania spalin wpływa wiele czynników, takich jak np.: rodzaj spalanych odpadów, ich skład i zróżnicowanie w czasie, skład powstających spalin i jego zmienność, strumień objętości spalin i ich temperatura, graniczne wartości emisji, dostęp do wody i innych reagentów oraz ich koszt, możliwość zastosowania poszczególnych elementów systemu (urządzeń oczyszczających) m.in. pod względem dodatkowych uciążliwości (w tym hałasu), a także występowania

w kolejności zmniejszającej się temperatury spalin (od kotła do komina), by uniknąć konieczności zużycia dodatkowej energii na podgrzewanie spalin [3].

Jednym z najprostszych rozwiązań wykorzystywanych do oczyszczania spalin z substancji występujących zarówno w fazie gazowej, jak i stałej jest system suchy, polegający na podawaniu suchego, rozdrobnionego sorbentu bezpośrednio do kanału spalinowego lub do specjalnego reaktora strumieniowego zabudowanego na tym kanale, a następnie na zatrzymaniu fazy stałej (pyłu i sorbentu wraz z zaadsorbowanymi substancjami) w wysoko sprawnym urządzeniu odpylającym (z ewentualną recyrkulacją sorbentu). Urządzeniem tym jest częściej filtr tkaninowy (lub inny odpylacz filtracyjny) niż filtr elektrostatyczny, gdyż sorbent odkładający się na powierzchni tkaniny w postaci „placka” filtracyjnego zwiększa skuteczność odpylania oraz efektywność wymiany masy pomiędzy fazą gazową i stałą. Alternatywnie suchy system oczyszczania może być oparty na adsorberze zawierającym stałe lub ruchome złożo adsorbentu, które jednak wymaga okresowej regeneracji lub wymiany. Rozwiązania tego typu są stosowane w systemach oczyszczania spalin wielu instalacji spalania odpadów (czasami jako jedyny element tego systemu), znane są także w energetyce jako tzw. sucha metoda odsiarczania spalin [3-9].

W dokumencie referencyjnym dotyczącym najlepszych dostępnych technik z zakresu spalania odpadów zdefiniowano 168 możliwych kombinacji całkowicie suchego systemu oczyszczania spalin opartego na wykorzystaniu w charakterze odpylacza filtra tkaninowego oraz różnych opcjonalnych rozwiązań i elementów systemu (w tym ewentualnych instalacji typu SCR czy SCR i katalitycznych filtrów workowych lub adsorberów suchych) [3]. Z uwagi na fakt, że procesy adsorpcji („suchej” lub „mokrej”) mogą występować także w wielu innych systemach oczyszczania spalin (mokrych i półsuchych), liczba możliwych konfiguracji systemów wykorzystujących tego typu procesy jest jeszcze większa.

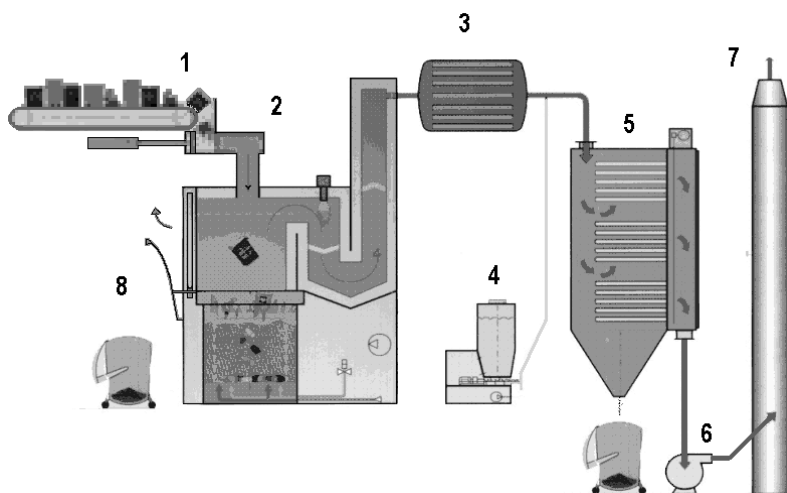
W charakterze sorbentów stosuje się materiały o bardzo dobrze rozwiniętej powierzchni wewnętrznej i/lub cechujące się selektywną reaktywnością w stosunku do usuwanych substancji (chemisorpcja) ewentualnie mogące katalizować przemiany ułatwiające proces ich wiązania [5-9]. W tym celu są wykorzystywane najczęściej sorbenty wapniowe, wapniowo-węglowe lub sodowe oraz węgiel lub koks aktywny, nieco rzadziej zaś sorbenty tlenkowe, węglowe sita molekularne oraz specjalne sorbenty węglowe pokryte odpowiednimi substancjami impregnującymi (np. jodem, srebrem, kwasem siarkowym lub siarką elementarną) czy syntetyczne polimery porowate (żywice) zawierające zdyspergowany węgiel. Cena sorbentów specjalnych jest znacznie większa, pozwalają one jednak na skuteczniejsze zatrzymywanie np. par metali ciężkich (w tym rtęci) lub polichlorowanych dibenzo-*p*-dioksyn i dibenzofuranów (PCDD/Fs). W przypadku niektórych z nich (np. polimeru typu Adiox impregnowanego węglem aktywnym) jest wykorzystywana kombinacja procesów absorpcji i adsorpcji, umożliwiająca jego zastosowanie zarówno w suchych, jak i mokrych systemach oczyszczania spalin, w postaci wypełnienia kolumn absorpcyjnych, łapaczy kropeł i wypełnienia nieruchomego złoża [10, 11].

Przykładem zastosowania całkowicie suchego systemu oczyszczania spalin są instalacje oparte na technologii dwustrefowego złoża fluidalnego typu Seghers Flu-

id Clean, służące do termicznego przekształcania odpadów niebezpiecznych, w tym też odpadów medycznych (Medical Waste Degradation System) [12-15]. Z uwagi na fakt, że system ten oparty jest tylko na wtrysku sorbentów wapniowo-węglowych do spalin przed urządzeniem odpylającym, istnieje obawa, że może okazać się on niewystarczający do dotrzymania wszystkich standardów emisyjnych obowiązujących dla tego typu instalacji, co jest przedmiotem rozważań w niniejszej pracy.

1. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań była instalacja do termicznego przekształcania odpadów medycznych firmy Seghers oparta na reaktorze fluidalnym typu B-14.10.08/DSDR o zdolności przerobowej ok. 150 kg/h, współpracującym z komorą dopalania, kotłem parowym oraz suchym systemem oczyszczania spalin (rys. 1) [16]. Tego typu reaktor fluidalny wyposażony jest w kosz o wymiarach 1300×950×740 mm (stanowiący ruszt dla odpadów), palnik gazowy do podtrzymywania temperatury, system kontrolowanego nadmuchu powietrza, zraszacz wodny oraz mechaniczne systemy załadunku odpadów i opróżniania kosza z popiołu, szkła, ceramiki i metali. Instalacja ta pracuje w pełnej automatyce, a odpady mogą być podawane do reaktora (kosza) z zadaną częstotliwością w pudełkach tekturowych lub innych pojemnikach palnych o maksymalnych wymiarach 0,5×0,5×0,5 m w porcjach o masie nieprzekraczającej 15 kg.



Rys. 1. Schemat instalacji spalania odpadów medycznych firmy Seghers [16]: 1 - system załadunku, 2 - reaktor ze złożem fluidalnym i komorą dopalania, 3 - wymiennik ciepła, 4 - system wtrysku sorbentu, 5 - filtr ceramiczny, 6 - wentylator wyciągowy spalin, 7 - komin, 8 - system opróżniania kosza

Termiczne przekształcanie odpadów w tej instalacji zachodzi wielostopniowo: w stacjonarnej warstwie fluidalnej, ponad złożem oraz w komorze dopalania spalin. W obrębie złoża fluidalnego, które stanowi kalibrowany piasek kwarcowy o uziarnieniu $125\div 500\ \mu\text{m}$ (99% masy), następuje suszenie i zgazowanie odpadów, a więc ich termiczny rozkład przy niedoborze tlenu, w temperaturze ok. 550°C . Stosunkowo niska i utrzymywana w wąskim zakresie temperatura złoża nie powoduje powstawania żużla oraz deformacji zawartych w odpadach metali i szkła, co umożliwia ich recykling. Wstępne utlenienie lotnych produktów zgazowania odpadów następuje już ponad złożem fluidalnym (druga strefa reaktora) w temperaturze przekraczającej 700°C . Spaliny opuszczające tę strefę przechodzą przez płomień palnika do właściwej komory dopalania, wyposażonej w dodatkowe palniki gazowe. Temperatura w komorze dopalania utrzymywana jest na poziomie ok. $850\div 1100^\circ\text{C}$. Tuż za komorą dopalania znajduje się parowy kocioł płomieniówkowy do odzysku ciepła ze spalin. W kotle tym produkowana jest para wodna o nadciśnieniu 0,85 (maksymalnie 1,1) MPa. Temperatura spalin za kotłem obniża się do ok. 300°C .

Zastosowany w omawianej instalacji suchy system oczyszczania spalin oparty jest na procesie adsorpcji zanieczyszczeń na sorbencie wapniowo-węglowym oraz odpylaniu spalin w wysoko sprawnym filtrze ceramicznym o całkowitej powierzchni filtrującej wynoszącej $120\ \text{m}^2$. Czynnikiem sorpcyjnym wykorzystywanym w procesie oczyszczania spalin jest mieszanka wysokoreaktywnego wapna hydratyzowanego o rozbudowanej powierzchni względnej i węgla aktywnego, stanowiącego ok. $5\div 10\%$ masy całej mieszanki. Skład chemiczny i ziarnowy tego sorbentu scharakteryzowano w tabeli 1.

TABELA 1. Charakterystyka sorbentu stosowanego do oczyszczania spalin

Wapno hydratyzowane		Węgiel aktywny	
Udział wagowy:			
90÷95%		5÷10%	
Skład chemiczny:			
Ca(OH) ₂	95-97%	Fe	0,1÷0,3%
SiO ₂	1,2%	Ca	0,3÷0,6%
MgO	0,8%	SO ₄	maks. 0,2%
inne	1,0%	Cu	ok. 5 ppm
		Pb	maks. 1 ppm
Zawartość poszczególnych frakcji:			
> 32 μm	18,4%	> 10 μm	60%
> 45 μm	15,1%	> 44 μm	22%
> 63 μm	13,2%	> 74 μm	10%
> 90 μm	7,2%	> 150 μm	3%
> 150 μm	3,6%		

Sorbent jest podawany podajnikiem pneumatycznym (mieszacz Venturiego z dmuchawą powietrza) do kanału spalinowego tuż przed urządzeniem odpylającym, a następnie zatrzymywany na świecach z włókien ceramicznych, tworząc dodatkową warstwę filtracyjno-adsorpcyjną. Zastosowany filtr ceramiczny charakteryzuje się wysoką odpornością chemiczną i termiczną oraz bardzo wysoką skutecznością filtracji (rzędu 99,9%) dla cząstek o średnicy powyżej 0,1 μm . Elementem jego wyposażenia jest automatyczny, pulsacyjny system oczyszczania modułów filtracyjnych (za pomocą sprężonego powietrza przepuszczanego w przeciwnym kierunku), gwarantujący stabilny spadek ciśnienia spalin na filtrze oraz ciągłość pracy. Opadające w dół cząstki stałe zbierane są w dyszach pyłowych, a następnie gromadzone w workach typu „big-bag”. Na skutek tego, że sorbent jest transportowany i rozpylany w spalinach za pomocą dodatkowego strumienia powietrza, następuje rozcieńczenie spalin powietrzem i obniżenie ich temperatury do poziomu poniżej 200÷230°C. Po odpyleniu w filtrze ceramicznym spaliny o temperaturze rzędu 140÷200°C odprowadzane są do atmosfery za pomocą wentylatora poprzez komin o wysokości 34 m.

2. METODYKA BADAŃ

Skuteczność usuwania ze spalin wybranych substancji zanieczyszczających określono poprzez wykonanie pomiarów ich stężeń i strumieni masy w gazach odlotowych przed i za systemem oczyszczania spalin, przy chwilowym strumieniu spalanych odpadów wahającym się od ok. 50 do 150 kg/h (przeważnie 90÷110 kg/h) i zużyciu sorbentu ok. 4÷5 kg/h. Wyniki pomiarów stężeń niektórych substancji w gazach emitowanych do powietrza odniesiono ponadto do standardów emisyjnych określonych dla tego typu instalacji. Badaniami objęto m.in. dwutlenek siarki (SO_2), tlenki azotu (NO_x) w przeliczeniu na dwutlenek azotu (NO_2), sumę węglowodorów lotnych (C_xH_y) w przeliczeniu na CH_4 , chlorowodor (HCl), fluorowodor (HF), cyjanowodor (HCN), pary rtęci i jej związków w przeliczeniu na rtęć (Hg), a także BTX (benzen, toluen, etylobenzen i ksylen).

Pomiary strumienia objętości spalin przepływających przez poszczególne przekroje pomiarowe, niezbędne do obliczenia strumieni masy badanych substancji w gazów odlotowych, wykonano metodą całkowania bryły prędkości z wykorzystaniem rurki spiętrzającej i cyfrowego miernika różnicy ciśnień.

Pomiary składu spalin (w tym zawartości tlenu i dwutlenku węgla) oraz stężeń głównych zanieczyszczeń gazowych (w tym m.in. SO_2 , NO , NO_2 i HC) przeprowadzono za pomocą przenośnego analizatora spalin typu LANCOM Series II (Land Combustion) w seriach 10-minutowych. Uzyskane w wyniku bezpośrednich pomiarów stężenia w gazie wilgotnym były przeliczane na stężenia w gazie suchym w oparciu o równoległy pomiar zawartości wilgoci w spalinach oczyszczonych, realizowany w sposób ciągły w ramach stacjonarnego systemu monitoringu wybranych parametrów spalin, stosowanego w tej instalacji.

Pomiary stężeń HCl, HF, HCN, Hg i BTX w spalinach przeprowadzono metodami manualnymi z aspiracyjnym poborem próbek. W tym celu wykorzystane były zestawy do poboru próbek gazowych wyposażone w sondę, filtr cząstek stałych z włókna szklanego, odpowiedni kolektor (płuczki umieszczone w kąpeli lodowowodnej lub rurki sorpcyjne) i automatyczny aspirator typu ASP-2 (ZUP ZAM Kęty), umożliwiający kontrolę parametrów przepływu i całkowitej objętości gazu suchego przepuszczonego przez kolektor. Pobory poszczególnych próbek gazowych odbywały się z prędkością ok. $1 \text{ dm}^3/\text{min}$ i trwały od ok. 0,5 do 1,5 godziny (w zależności od rodzaju substancji i położenia punktu pomiarowego).

W charakterze kolektora wykorzystywane były:

- w przypadku HCl - dwie połączone szeregowo płuczki zawierające 0,01 n roztwór NaOH,
- w przypadku HF i HCN - dwie połączone szeregowo płuczki zawierające 0,1 n roztwór NaOH,
- w przypadku pary rtęci i jej lotnych związków - trzy połączone szeregowo płuczki, z których dwie napełnione były 0,1 n roztworem NaOH, a trzecia 0,25% roztworem K_2MnO_4 silnie zakwaszonym kwasem siarkowym,
- w przypadku BTX - rurki sorpcyjne z węglem aktywnym o wypełnieniu 100/50 mg.

Badania zawartości HCl w pobranych próbkach przeprowadzono metodą kolorymetryczną, wykorzystującą reakcję barwną zachodzącą pomiędzy jonami chlorokowymi a rodankiem srebra i alunem żelazowym [17]. Analiza zawartości jonów fluorkowych w roztworze pochłaniającym wykonywana była zgodnie z PN-79/C-04588.02, a cyjanków metodą pirydynowo-pirazolonową (metoda 8027 HACH). Oznaczenia rtęci przeprowadzono metodą absorpcji atomowej z wykorzystaniem analizatora rtęci AMA 254 (ALTEC, Czechy), umożliwiającego prowadzenie analiz próbek bez ich wcześniejszej mineralizacji.

Analizy BTX wykonano metodą chromatografii gazowej z wzbogacaniem próbki zgodnie z PN-89/Z-04016.03 po ekstrakcji węgla aktywnego dwusiarczkiem węgla wolnego od węglowodorów (Fluka). Analizy chromatograficzne ekstraktów wykonywano na chromatografii gazowej Pye Unicam z detektorem jonizacyjno-płomieniowym (FID) skojarzonym z komputerowym systemem zbierania i przetwarzania danych chromatograficznych.

Do rozdzielu węglowodorów stosowano szklane kolumny chromatograficzne:

- kolumnę o długości 2,8 m i średnicy wewnętrznej 4 mm, zawierającą 15% fosforanu tri-*p*-krezylu na Chromosorbie W-AW DMCS,
- kolumnę o długości 2,5 m i średnicy wewnętrznej 4 mm, zawierającą 15% SE-30 na Chromosorbie W-AW DMCS.

Warunki pracy chromatografu były następujące: temperatura kolumny 120°C , temperatura dozownika 160°C , temperatura detektora 220°C . Jako gaz nośny stosowano argon ($30 \text{ cm}^3/\text{min}$).

Kalibrację układu chromatograficznego wykonano przy pomocy roztworów wzorcowych zawierających znane stężenia poszczególnych węglowodorów

w dwusiarczku węgla, obejmujących zakres stężeń od 0,5 do 100 $\mu\text{g/ml}$. Powierzchnie pików branych do obliczenia zawartości węglowodorów w ekstraktach korygowano, uwzględniając powierzchnię tła.

3. WYNIKI BADAŃ

Otrzymane w wyniku przeprowadzonych pomiarów zbiorcze zestawienie średnich strumieni masy analizowanych substancji w spalinach przepływających przez badane przekroje pomiarowe (tzw. unos i emisja) oraz obliczonych skuteczności ich zatrzymywania w zastosowanym suchym systemie oczyszczania spalin przedstawiono w tabeli 2. W przypadku zanieczyszczeń, dla których są określone standardy emisyjne, uzyskane wartości stężeń w gazach emitowanych do powietrza porównano dodatkowo z tymi standardami (tab. 3).

TABELA 2. Zbiorcze zestawienie średnich strumieni masy badanych substancji przed i za systemem oczyszczania spalin oraz skuteczności oczyszczania

Rodzaj substancji	Gazy nieoczyszczone		Gazy oczyszczone		Średnia skuteczność oczyszczania, %
	średni unos g/h	liczba pomiarów	średnia emisja g/h	liczba pomiarów	
SO ₂	430	10	71	17	83,5
NO _x (jako NO ₂)	163	10	161	17	1,3
HC (jako CH ₄)	2929	10	2043	17	30,3
HCl	29,0	5	18,9	5	35,0
HF	0,118	2	0,090	3	23,3
HCN	0,113	2	0,017	3	85,0
Hg	0,599	2	0,358	3	40,2
Benzen	1,579	6	0,760	3	51,9
Toluen	0,161	6	0,070	3	56,7
Etylobenzen	0,137	6	0,001	3	99,5
Ksylen	0,223	6	0,090	3	59,7
BTX (ogółem)	2,101	6	0,920	3	56,2

Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów, spośród substancji występujących w fazie gazowej najwyższe średnie skuteczności usuwania ze spalin w zastosowanym suchym systemie oczyszczania uzyskano w przypadku etylobenzenu (ok. 99,5%), HCN (ok. 85%) i SO₂ (ok. 83,5%). Skuteczność oczyszczania spalin z benzenu, toluenu i ksyleny wynosiła ok. 52÷60% (średnio 56%), a węglowodórów lotnych ogółem - ok. 30%. Zatrzymywanie rtęci, HCl i HF przez badany sorbent węglowo-wapniowy zachodzi w podobnym stopniu (odpowiednio 40, 35 i 23%). W przypadku NO_x nie zaobserwowano z kolei istotnych różnic w strumieniach masy przed i za systemem oczyszczania spalin, niemniej jednak wartości stę-

zeń w gazach emitowanych do powietrza utrzymują się poniżej $200 \text{ mg/m}^3_{\text{u}}$ i nie wymagają dodatkowej redukcji.

TABELA 3. Porównanie stężeń wybranych substancji w gazach emitowanych do powietrza ze standardami emisyjnymi (temperatura 273 K, ciśnienie 101,3 kPa, gaz suchy, 11% O_2)

Rodzaj substancji	Stężenia w gazach emitowanych, mg/m^3_{u}			Standard emisyjny, mg/m^3_{u} [1, 2]	
	wartość średnia	zakres	odchylenie standardowe	średni dobowy	średni 30-minutowy
SO_2	62	6÷156	44	50	200
NO_x (jako NO_2)	149	104÷193	25	200	400
HCl	18,0	15,2÷23,8	3,1	10	60
HF	0,080	0,047÷0,119	0,028	1	4
Hg	0,319	0,162÷0,550	0,141	0,05	

Wyjątkowo niską skuteczność oczyszczania uzyskano dla HCl i HF, w przypadku których dla żadnego z pomiarów przeprowadzonych równoległe przed i za systemem oczyszczania spalin nie przekroczyła ona 50%. Była ona zatem dużo niższa od wartości możliwych do uzyskania w innych suchych systemach oczyszczania spalin wykorzystujących sorbenty wapniowe lub węglowo-wapniowe [5, 6]. Niestety wiąże się to z podwyższonymi stężeniami HCl w gazach opuszczających system oczyszczania spalin, które otrzymano na poziomie wyższym od średniodobowego standardu emisyjnego. Podczas przeprowadzonych badań wystąpiły również wyjątkowo wysokie stężenia rtęci, choć uzyskana ok. 40% skuteczność jej usuwania ze spalin jest raczej trudna do podwyższenia bez wykorzystania specjalnie impregnowanych sorbentów węglowych.

W przypadku stosowania tego typu suchej metody oczyszczania spalin, bazującej na sorbencie wapniowo-węglowym, konieczne wydaje się być zatem ograniczenie ilości chloru i rtęci (oraz ewentualnie innych substancji łatwo przechodzących do fazy gazowej), wprowadzanych do procesu spalania wraz z odpadami, lub zmodyfikowanie sposobu oczyszczania spalin z substancji gazowych.

Wyniki dodatkowych badań dotyczących zastosowania pierwotnych metod redukcji substancji zanieczyszczających powietrze, ograniczających ich powstawanie w analizowanej instalacji, wskazują na pewne możliwości w tym zakresie, ale odnoszą się one głównie do produktów niepełnego spalania (tlenku węgla i węglowodorów). Do metod tych zaliczyć można głównie ograniczenie częstotliwości i masy pojedynczych ładunków, zwiększenie ilości powietrza podawanego do górnej części reaktora fluidalnego oraz do komory dopalania (przynajmniej w okresie wzmożonego zapotrzebowania na tlen, występującego tuż po wprowadzeniu nowej porcji odpadów) oraz zwiększenie temperatury w komorze dopalania spalin, a przynajmniej utrzymywanie jej stale w górnym przewidywanym zakresie (na poziomie $1000\div 1100^\circ\text{C}$) [14, 15].

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Sprawność działania badanego systemu oczyszczania spalin z instalacji spalania odpadów medycznych, wykorzystującego sorbent wapniowo-węglowy, jest stosunkowo wysoka (powyżej 80%) w przypadku zatrzymywania tylko niektórych substancji występujących w fazie gazowej (w tym SO₂ i HCN). W przypadku pozostałych rozpatrywanych substancji sprawność ta była już na dużo niższym poziomie, a w przypadku NO_x bliska zeru. Substancje występujące w fazie stałej z reguły nie stanowią już problemu, gdyż są one prawie w całości zatrzymywane w wysoko sprawnym urządzeniu odpylającym.
2. O ile w odniesieniu do lotnych związków organicznych czy rtęci trudno oczekiwać od tego typu systemu wyższych skuteczności oczyszczania, to wyniki uzyskane dla takich substancji, jak np. HCl czy HF wydają się być dużo niższe w porównaniu z doniesieniami literaturowymi.
3. W sytuacji okresowego wzrostu zawartości w spalanych odpadach chloru, rtęci czy siarki analizowany suchy system oczyszczania spalin może okazać się niewystarczający do dotrzymania standardów emisyjnych z tego typu instalacji określonych dla HCl, Hg i/lub SO₂.
4. Wzrost skuteczności oczyszczania spalin może być osiągnięty poprzez wcześniejsze nawilżenie i schłodzenie spalin, zwiększenie ilości podawanego sorbentu i stopnia jego rozdrobnienia oraz zastosowanie specjalnych sorbentów impregnowanych.
5. Inne, bardziej kosztowne rozwiązania wiążą się rozbudową istniejącego układu o mokry węzeł oczyszczania spalin (np. płuczkę absorpcyjną z wypełnieniem zasilaną roztworem NaOH), w którym w sposób stosunkowo wydajny będą mogły być zatrzymywane zarówno kwaśne zanieczyszczenia gazowe, jak i pary rtęci i jej związków.
6. W odniesieniu do niektórych substancji (w tym np. produktów niepełnego spalania) możliwe jest także zastosowanie dużo prostszych rozwiązań, pozwalających na ograniczenie ich powstawania w samym procesie termicznego przekształcania odpadów, a omówionych m.in. w pracach [14, 15].

Praca została wykonana w ramach badań własnych AGH Nr 10.10.150.840.

LITERATURA

- [1] Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste, OJ L 332, 28.12.2000, 91.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, DzU 2005 Nr 260, poz. 2181.
- [3] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration, European Commission, August 2006.
- [4] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. European Commission, July 2006.

- [5] Brna T.G., Cleaning of flue gases from waste combustors, *Combust. Sci. Tech.* 1990, 74, 1-6, 83-98.
- [6] Felsvang K., Gleiser R., Juip G., Nielsen K.K., Activated carbon injection in spray dryer/ESP/FF for mercury and toxics control, *Fuel Processing Technology* 1994, 39, 1-3, 417-430.
- [7] Oleniacz R., Oczyszczanie gazów odlotowych ze spalania odpadów niebezpiecznych, *Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska* 2000, 5, 2, 363-382.
- [8] Koniecznyński J., Ochrona powietrza przed szkodliwymi gazami. Metody, aparatura i instalacje, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
- [9] Mazur M., Systemy ochrony powietrza, Uczelniane Wyd. Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2004.
- [10] Anderson S., Kreis S., Hunsinger H., Dioxin Removal: Adiox for Wet Scrubbers and Dry Absorbers, *Filtr. Sep.* 2005, 42, 12, 22-25.
- [11] Revised Draft Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices Relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, Geneva, December 2006.
- [12] Szremski M., Technologie Seghers Fluid Clean w zastosowaniu do utylizacji odpadów, Materiały Seminarium nt. Nowoczesne technologie termicznej utylizacji odpadów, Tarnów, 6 września 1999.
- [13] Wandrasz J.W., Gospodarka odpadami medycznymi, Wyd. PZITS, Oddział Wielkopolski w Poznaniu, Poznań 2000.
- [14] Oleniacz R., Termiczne przekształcanie odpadów medycznych w instalacji fluidalnej firmy Seghers - emisja zanieczyszczeń gazowych i możliwości jej ograniczenia, *Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska*, 2003, 8, 1, 55-71.
- [15] Oleniacz R., Analiza możliwości ograniczenia emisji zanieczyszczeń powietrza z instalacji spalania odpadów medycznych w Tarnowie. Ochrona powietrza w teorii i praktyce. Tom 1. Emisja substancji zanieczyszczających, badania ich właściwości i metody ograniczania emisji (red. J. Koniecznyński), Wyd. IPIS PAN w Zabrzu, Zabrze 2006.
- [16] Materiały informacyjne Seghers Better Technology Group.
- [17] Leithe W., Die Analyse der Luft und ihrer Verunreinigungen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1974.

EFFECTIVENESS EVALUATION OF A DRY FLUE-GAS TREATMENT SYSTEM FROM MEDICAL WASTE INCINERATION BASED ON LIME-CARBON ABSORBENT INJECTION

The research object was a medical waste incineration plant with a capacity of 150 kg per hour equipped with a flue gas treatment system based on dry sorption process using a lime-carbon reagent with adsorbent removing in high-efficiency particulate collector. As the dry sorption agent was used a mixture of high reactive hydrated lime and activated carbon injected to combustion gases by pneumatic feeder. Activated carbon content in the mixture was 5±10% by mass. Applied collector was ceramic filter with total filtration area of 120 m² and guaranteed outlet dust concentration under 5 mg/Nm³. Among others things the aims of research were evaluation of removal efficiency from flue-gases selected gaseous compounds (SO₂, NO_x, HC, HCl, HF, HCN, Hg and BTX) and possibilities of comply with emission limit requirements for waste incinerators. On the basis of carried out measurements and analysis there was claimed that full-dry flue-gas treatment systems are not too adequate for some pollutants existing in gas phase and consequently could not to comply with the emission standards during temporary increasing of the substances released from the incineration process.

KEYWORDS: waste incineration, flue-gases, dry sorption, removal efficiency